

28 APR 2003

10/533014

PO DE 03/03411

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (6)

REC'D 08 DEC 2003

WIPO PCT

## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 51 720.7

Anmeldetag: 06. November 2002

Anmelder/Inhaber: Siemens Aktiengesellschaft, München/DE

Bezeichnung: Strömungsmaschine

IPC: F 01 D 5/28

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 31. Oktober 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Best Available Copy

## Beschreibung

### Strömungsmaschine

5 Die vorliegende Erfindung betrifft eine Strömungsmaschine mit an einer in einem Gehäuse drehbar gelagerten Rotorwelle angeordneten Laufschaufeln aus einem elektrisch leitfähigen Werkstoff mit einer elektrisch isolierenden Oberfläche. Die Erfindung betrifft ferner eine Strömungsmaschine mit an einer 10 in einem Gehäuse drehbar gelagerten Rotorwelle angeordneten Laufschaufeln und mit drehfest angeordneten Leitschaufeln aus einem elektrisch leitfähigen Werkstoff mit einer elektrisch isolierenden Oberfläche.

15 Strömungsmaschinen mit Schaufelanordnungen zur Wechselwirkung mit einer durch die Strömungsmaschine strömenden Fluidströmung sind grundsätzlich als Verdichter oder Turbinen und dergleichen bekannt. Um den Wirkungsgrad solcher Maschinen zu erhöhen, werden immer höhere physikalische Anforderungen an 20 die verwendeten Materialien der Strömungsmaschine gestellt. Und zwar wird, um den Wirkungsgrad einer Gasturbine zu erhöhen, die Temperatur einer in die Gasturbine einströmenden Gasströmung auf mehr als 1200°C gesteigert. Um den hohen physikalischen Anforderungen, insbesondere aufgrund der Temperatur, standhalten zu können, werden die Schaufeln der Turbine mit einer Beschichtung versehen, die einer besonders hohen Beanspruchung standhält. Eine solche Beschichtung ist beispielsweise das sogenannte Thermal Barrier Coating von Schaufeln einer Gasturbine, im folgenden TBC genannt, wobei ein 30 Schaufelblatt an seiner der Gasströmung ausgesetzten Oberfläche mit einer derartigen Beschichtung versehen wird.

Diese Beschichtung der Schaufel unterliegt einer Alterung, die unter anderem von der Betriebszeit und den weiteren Betriebsbedingungen der Schaufel abhängig ist. Nach Erreichen 35 einer vorgegebenen Betriebszeit löst sich beispielsweise die Beschichtung von der Schaufel ab, wodurch die Schaufel unge-

schützt der hohen Beanspruchung durch die Gasströmung ausgesetzt ist. Ein umgehendes Auswechseln der Schaufel ist erforderlich, um eine Zerstörung dieser Schaufel und damit eine Beschädigung der Turbine zu vermeiden.

5

Im Stand der Technik werden daher Betriebszeiten für derartige Schaufeln vorgegeben, nach deren Erreichen die Turbine zerlegt und die Schaufeln ausgewechselt bzw. neu beschichtet werden, auch wenn die Schaufeln noch keine Beschädigungen aufweisen. Nachteilig ist hierbei, dass, um Ausfälle von Schaufeln und der Turbine zu vermeiden, die Wartungsintervalle derart kurz bzw. häufig gewählt werden, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit ein Fehler zwischen zwei Wartungsintervallen nicht auftritt. Es wäre daher wünschenswert, eine derartige Strömungsmaschine erst dann einer Wartung unterziehen zu müssen, wenn ein Austausch der Schaufel oder eine Neubeschichtung erforderlich ist, um insbesondere Kosten und Standzeiten gering zu halten.

20 Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, die Beschädigung einer Beschichtung einer Schaufel festzustellen, bevor die Schaufel selbst beschädigt ist.

Als Lösung wird mit der Erfindung vorgeschlagen, dass der elektrisch leitfähige Werkstoff der Laufschaufeln mit einem Bezugspotential elektrisch verbunden ist, und die Strömungsmaschine ein im Bereich der Laufschaufeln angeordnetes Messelement zur Messung einer elektrischen und/oder magnetischen Feldstärke aufweist.

30

Es wird der Effekt ausgenutzt, dass sich Ladungen bevorzugt auf Isolatoren "festsetzen", während sie auf leitenden Materialien abfließen. Genau das trifft für die TBC-Keramikschicht zu, auf der sich geladene Teilchen aus dem ionisierten Gasstrom absetzen, während sie auf unbeschichteten Metall abfließen. Die Ladungsmenge auf der Schicht ist proportional zur TBC-Fläche, wodurch eine Bemaßung für die Integrität der

Keramikschicht entsteht. Rotieren nun die Laufschaufeln an einer feststehenden Antenne vorbei, so können die Ladungsdifferenzen detektiert werden, und zwar zum einen zum Bereich ohne Schaufel (Zwischenraum) und zum anderen zwischen den 5 einzelnen Schaufeln, was eine Aussage über Defekte der TBC-Schicht erbringt. Die Detektion des durch die Ladungen erzeugten elektrischen Feldes, dessen Frequenz sich aus der Multiplikation von Umlaufdrehzahl (z.B. 60 Hz) und Anzahl der Schaufeln (z.B. 80) ergibt (z.B. 4800 Hz), kann z.B. über eine 10 koaxial ausgeführte Dipolantenne (kapazitive Kopplung), die in den Gasstrom hineinragt, erfolgen. Eine Aussage über die Integrität der Schaufeln kann im Zeitbereich anhand der Amplitudenhöhe im Frame von z.B. 80 Schwingungen (Schaufelanzahl) gemacht werden, bzw. im Frequenzbereich durch das Erscheinen von Harmonischen der Umlaufdrehzahl von z.B. 60 Hz. 15 Bei idealen Verhältnissen wären im Zeitbereich alle Amplituden eines Frames gleich bzw. im Frequenzbereich dürften unterhalb der z.B. 4800 Hz keine Subharmonischen zu sehen sein.

20 Erstmals wird mit der Erfindung eine Möglichkeit geschaffen, den Zustand der Schaufeln zu überwachen, insbesondere kontinuierlich auch während des Betriebes der Strömungsmaschine, und rechtzeitig bei Erreichen einer vorgebbaren Verschleißgrenze eine Wartung und/oder Überholung der Turbine, insbesondere der Schaufeln, durchzuführen. Wie oben ausgeführt, wird der Effekt ausgenutzt, dass sich Ladungen bevorzugt auf Isolatoren ansammeln, während sie auf leitenden Materialien durch diese abgeleitet werden. Ladungen treten bei der Strömung fluider Stoffe auf, wenn entweder das Fluid selber in 30 entsprechende Ladungsträger dissoziiert ist oder dem Fluid entsprechende Ladungsträger zugeführt worden sind. Die auf einer isolierenden Schicht akkumulierte Ladung kann proportional zu deren Fläche sein, jedoch ist sie im wesentlichen abhängig von der Fläche. Die auf den rotierenden Laufschaufeln 35 akkumulierten Ladungsträger erzeugen ein elektrisches Feld, dessen Feldstärke mit dem Messelement detektiert werden kann. Über eine Auswertung der Signale des Messelements kann daher

auf die Feldstärke geschlossen werden. Eine intakte Schaufel erzeugt im Messelement eine entsprechend ausgeprägte Amplitude des Messsignals (z.B. elektrische Spannung). Eine verschlissene Beschichtung auf einer Laufschaufel oder eine fehlerhafte Beschichtung führt zu einem Ableiten der Ladung über die elektrisch leitfähige Laufschaufel zu einem mit der Laufschaufel in elektrischer Verbindung stehenden Bezugspotential. Eine solche Schaufel kann daher ein Messsignal mit kleinerer Amplitude im Messelement erzeugen. Mit Drehung der Rotorwelle können nacheinander alle Schaufeln eines Schaufelrades am Messelement vorbeigeführt werden, so dass der Zustand der Laufschaufeln dieses Laufschaufelrades vollständig ermittelbar ist.

In einer weiteren Ausgestaltung wird vorgeschlagen, dass die Strömungsmaschine drehfest angeordnete Leitschaufeln aus einem elektrisch leitfähigen Werkstoff mit einer elektrisch isolierenden Oberfläche aufweist, wobei der elektrisch leitfähige Werkstoff der Leitschaufeln mit einem Bezugspotential elektrisch verbunden ist und im Bereich der Leitschaufeln an der Rotorwelle ein Messelement zur Messung einer elektrischen und/oder magnetischen Feldstärke vorgesehen ist. So kann unter Ausnutzung desselben Effektes eine auf den Leitschaufeln vorgesehene isolierende Oberfläche ebenfalls überwacht werden.

Es wird ferner vorgeschlagen, dass das Messelement durch eine Koaxial-Antenne gebildet ist. Die Koaxial-Antenne kann vorteilhaft sehr kompakt ausgebildet sein und demzufolge einfach in eine vorhandene Konstruktion integriert werden. Die Koaxial-Antenne weist darüber hinaus günstige Messeigenschaften auf, wobei Verzerrungen oder Messfehler aufgrund des verwendeten Messprinzips gering gehalten werden können. Eine Koaxial-Antenne kann ferner mit einfachen Mitteln derart ausgestaltet werden, dass sie den hohen physikalischen Anforderungen an der vorgesehenen Messstelle standhält. Grundsätzlich sind natürlich auch andere Messelemente einsetzbar, wie bei-

spielsweise Elektrometer und dergleichen. Daneben können jedoch auch Messelemente vorgesehen sein, die aufgrund des durch die Bewegung der Ladung erzeugten magnetischen Feldes ein entsprechendes Signal erzeugen. So kann das Messelement 5 auch als Messspule ausgebildet sein, mit welchem Magnetfeldänderungen ermittelbar sind, aus denen der Zustand der Beschichtung der Schaufeln bestimmbar ist.

Weiterhin wird vorgeschlagen, dass das Messelement mit einer 10 Messeinheit verbindbar ist. Mittels der Messeinheit kann vor teilhaft das durch das Messelement gelieferte Messergebnis zu einer weiteren Verarbeitung aufbereitet werden.

Darüber hinaus wird vorgeschlagen, dass die Messeinheit eine 15 Überwachungseinheit umfasst. Mittels der Überwachungseinheit kann beispielsweise das Erreichen eines vorgebbaren Schwellwertes ermittelt werden, bei dessen Erreichen eine Wartung der Strömungsmaschine vorgesehen ist.

20 Weiterhin wird vorgeschlagen, dass die Messeinheit mit einer Zentrale in Kommunikationsverbindung steht. So kann einerseits ein Messergebnis permanent an die Zentrale übermittelt werden, um beispielsweise eine folgende Wartung zu prognostizieren oder auch um in Abhängigkeit des aktuellen Verschleißzustands Maßnahmen wie Wartung initiieren oder Reserveeinheiten aktivieren zu können. Es kann jedoch auch ein Erreichen eines Schwellwertes übermittelt werden. Die Kommunikationsverbindung kann beispielsweise über Funk, Internet oder dergleichen ausgeführt sein. In der Zentrale können die übermittelten Daten für eine spätere weitere Verarbeitung gespeichert werden.

Darüber hinaus wird vorgeschlagen, dass die Überwachungseinheit eine Melde- und/oder eine Warneinrichtung aufweist. Bei 35 Erreichen eines Schwellwerts kann so eine Warnung an das Bedienpersonal ausgegeben werden, so dass rechtzeitig geeignete Maßnahmen eingeleitet werden können. Eine Meldeeinrichtung

kann beispielsweise durch einen Monitor gebildet sein, auf dem die aktuellen Messwerte anzeigbar sind. Die Werte können jedoch auch grafisch auf dem Monitor dargestellt sein und sie können ferner einstellbaren Schwellwerten gegenübergestellt

5 sein. Bei Erreichen eines Schwellwertes kann eine Warneinrichtung wie beispielsweise eine Warnleuchte, Rundumleuchte, ein Signalhorn oder dergleichen aktiviert werden. Es kann jedoch auch eine Meldung an die Zentrale erfolgen.

10 Ferner wird vorgeschlagen, dass die Strömungsmaschine mittels der Überwachungseinheit abschaltbar ist. So kann vorteilhaft erreicht werden, dass bei Feststellung von Defekten auf den Schaufeln die Maschine abgeschaltet wird, bevor die Maschine beschädigt wird. Standzeit, Reparaturkosten und Reparaturaufwand können reduziert werden.

15 In einer vorteilhaften Weiterbildung der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass eine Beschädigung der elektrisch isolierenden Oberfläche lokalisierbar ist. Vorteilhaft kann der Wartungszeitraum bzw. die Standzeit reduziert werden, indem ein Überprüfen aller Schaufeln eingespart werden kann.

20 In einer weiteren Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass die Strömungsmaschine eine Turbine, insbesondere eine Gasturbine, ist. Besonders vorteilhaft kann erreicht werden, dass besonders hoch beanspruchte Schaufeln von Gasturbinen hinsichtlich einer Beschädigung der Beschichtung kontinuierlich überwacht werden. Das Vorgeben von festen Wartungsintervallen kann eingespart werden. Darüber hinaus kann der Wartungszeitpunkt bedarfsgerecht in Abhängigkeit vom tatsächlichen Zustand der Schaufel gewählt werden. Standzeiten und Kosten für vorzeitige Wartung können weiter reduziert werden. Darüber hinaus kann vorteilhaft durch entsprechende Speicherung und Verarbeitung der Messdaten die Qualität der verwendeten Schaufeln überwacht werden. Bei Qualitätseinbußen, was sich in kürzeren Wartungsabständen äußert, kann ein

entsprechendes Steuern des Bearbeitungsprozesses der Schaufeln veranlasst werden.

Mit der Erfindung wird ferner ein Verfahren zur Bestimmung  
5 einer Beschädigung einer elektrisch isolierenden Oberfläche  
auf einer in einem Gehäuse drehbar gelagerten Rotorwelle an-  
geordneten Laufschaufel aus einem elektrisch leitfähigen  
Werkstoff in einer Strömungsmaschine vorgeschlagen, wobei  
mittels eines Messelements eine elektrische und/oder magneti-  
10 sche Feldstärke gemessen und eine Abweichung zu einem vorgeb-  
baren Schwellwert ermittelt wird. Vorteilhaft kann der Zu-  
stand der Oberfläche einer Schaufel überwacht werden und das  
Erreichen einer vorgebbaren Verschleißgrenze festgestellt  
werden. Es können jedoch auch mehrere Messelemente vorgesehen  
15 sein, deren Messwerte parallel mit entsprechend vorgebbaren  
Schwellwerten verglichen werden. So kann beispielsweise eine  
Redundanz hinsichtlich der Messelemente vorgesehen werden, so  
dass eine hohe Zuverlässigkeit der Messung erreichbar ist.  
Dies ist insbesondere bei großen Gasturbinen vorteilhaft, die  
20 in der Energieversorgung eingesetzt werden, und bei denen  
Fehlmessungen zu hohen Kosten führen würden. Es kann jedoch  
auch der Zustand einer Leitschaufel ermittelt werden, wenn  
ein entsprechendes Messelement an der Rotorwelle vorgesehen  
wird. Das Messverfahren ist analog anwendbar.

Ferner wird vorgeschlagen, dass die Abweichung an eine Zentrale übermittelt wird. Vorteilhaft kann eine Überwachung mehrerer Strömungsmaschinen von einer gemeinsamen Zentrale durchgeführt werden, so dass ein Überwachungsaufwand insge-  
30 samt reduziert werden kann.

Um vorteilhaft bei Überschreiten des Schwellwerts eine geeig-  
nete Maßnahme einleiten zu können, wird vorgeschlagen, dass  
bei Überschreiten des Schwellwerts eine Warnmeldung ausgege-  
35 ben wird. Dies kann beispielsweise durch eine Zentrale ausge-  
führt werden, es kann jedoch auch die Messeinheit selbst eine  
Warnmeldung erzeugen und ausgeben. Die Ausgabe kann bei-

spielsweise an eine entsprechend geeignete Anzeigeeinheit erfolgen, die eine optische oder akustische Meldung abgibt. Die Meldung kann jedoch auch von der Zentrale abgegeben werden, wenn beispielsweise die Strömungsmaschine im Normalbetrieb 5 ohne technisches Personal betrieben wird.

Darüber hinaus wird vorgeschlagen, dass bei Überschreiten des Schwellwertes die Strömungsmaschine abgeschaltet wird. So kann vorteilhaft eine Schutzfunktion erreicht werden, wodurch 10 verhindert werden kann, dass eine beschädigte Oberfläche zu einer Beschädigung der gesamten Laufschaufel führt. Auch diese Maßnahme kann beispielsweise durch eine Zentrale ausgeführt werden. Dazu können an der Strömungsmaschine entsprechende Steuereinrichtungen vorgesehen sein, mittels derer der 15 Betrieb der Strömungsmaschine steuerbar ist.

In einer weiteren Ausgestaltung wird vorgeschlagen, dass mittels einer Messeinheit das vom Messelement gelieferte Messsignal transformiert, insbesondere Fourier-transformiert 20 wird. Das vom Messelement gelieferte Messsignal weist einen Frequenzanteil auf, der durch das Vorbeilaufen der diskreten Schaufeln am Messelement erzeugt wird. Durch die Transformation des Messsignals können Abweichungen vom Normalwert deutlicher ermittelt werden.

Dazu wird vorgeschlagen, dass eine FFT-Transformiereinheit verwendet wird. Die FFT-Transformiereinheit kann beispielsweise in der Messeinheit oder auch in einer entfernten Zentrale vorgesehen sein. Mit der FFT-Transformiereinheit kann 30 das Messsignal kontinuierlich in ein entsprechendes transformiertes Signal transformiert werden. Eine kontinuierliche Überwachung des transformierten Signals kann erreicht werden.

Um den Zustand der Schaufeln zu bestimmen, wird ferner vorgeschlagen, dass das Ergebnis der Transformation angezeigt und 35 gemeldet wird. So kann beispielsweise einem Bedienpersonal

das Ergebnis der Transformation übermittelt werden, um diesem mitzuteilen, in welchem Zustand sich die Schaufeln befinden.

Um beispielsweise eine Meldung zu erzeugen oder ein Kriterium 5 für den Betrieb der Strömungsmaschine zu erzeugen, wird vorgeschlagen, dass das Ergebnis der Transformation mit einem vorgebbaren Schwellwert verglichen wird. So kann vorteilhaft eine besonders empfindliche und genaue Detektion des Verschleißzustands einer Schaufel erreicht werden. Auch eine geringfügige Abnahme, die als Verschleißanzeichen betrachtet 10 werden kann, kann detektiert werden, so dass rechtzeitig geeignete Maßnahmen wie Austausch der Schaufel oder Reparatur der Beschichtung eingeleitet werden können.

15 Der Schwellwert kann jedoch auch in Abhängigkeit der verwendeten Schaufel bzw. Beschichtung variiert werden, um unterschiedliche Eigenschaften der Beschichtung bzw. eine unterschiedliche Belastung berücksichtigen zu können. So kann beispielsweise der Schwellwert für eine Schaufel am Fluideintritt 20 der Strömungsmaschine anders eingestellt sein als beispielsweise für eine Schaufel am Fluidaustritt der Strömungsmaschine. Ferner kann der Schwellwert auch als Funktion weiterer Betriebsparameter der Strömungsmaschine vorgegeben werden. So kann der Schwellwert bei hoher Belastung der Strömungsmaschine höher eingestellt sein als bei niedriger Belastung der Strömungsmaschine.

Weitere Vorteile und Merkmale sind der folgenden Beschreibung 30 von Ausführungsbeispielen zu entnehmen. Im wesentlichen gleichbleibende Bauteile sind mit den gleichen Bezugszeichen bezeichnet. Ferner wird bezüglich gleicher Merkmale und Funktionen auf die Beschreibung zum Ausführungsbeispiel in Fig. 1 verwiesen.

35 Es zeigen:

Fig. 1 eine perspektivische Darstellung einer Gasturbine mit einem längs aufgeschnittenen Gehäuse,  
Fig. 2 eine Seitenansicht einer mit einer Beschichtung versehenen Laufschaufel der Gasturbine in Fig. 1,  
5 Fig. 3 eine Seitenansicht einer mit einer Beschichtung versehenen Leitschaufel der Gasturbine in Fig. 1,  
Fig. 4 eine vergrößerte Darstellung des Turbinen- und Verdichtbereichs der Turbine in Fig. 1 mit einem erfindungsgemäßen Messelement,  
10 Fig. 5 ein Prinzipschaltbild, welches einen Betriebsablauf für die in Fig. 1 dargestellte Gasturbine zeigt,  
Fig. 6 ein Blockschaltbild einer Messvorrichtung zur Messung des Messsignals des Messelements,  
15 Fig. 7 ein Diagramm zur Darstellung einer Fourier-Transformation des mit dem Messaufbau in Fig. 6 gemessenen Messsignals bei einer Belastung der Gasturbine mit 100 % Leistung,  
Fig. 8 ein Diagramm wie in Fig. 7 mit einem transformierten Messsignal bei einer Belastung der Turbine mit 20 % der Nennleistung und  
20 Fig. 9 ein Diagramm wie in Fig. 7, mit einem transformierten Messsignal beim Abschalten der Gasturbine bei 100 % Leistung.

Fig. 1 zeigt eine perspektivische Ansicht einer Gasturbine 1 des Stands der Technik mit an einer in einem Gehäuse 2 drehbar gelagerten Rotorwelle 3 angeordneten Laufschaufeln 4 sowie mit drehfest angeordneten Leitschaufeln 7. An einem axialen Ende ist ein Lufteinlass 18 vorgesehen, dem axial ein Verdichter 19 nachgeordnet ist. Der Verdichter 19 wird gefolgt von einer Brennkammer 20 mit Brennern 21, an die sich der Turbinenbereich 22 mit dem Gasauslass 23 anschließt. Eine vergrößerte Darstellung des Turbinenbereichs 22 zeigt Fig. 4.

Fig. 2 zeigt eine einzelne Laufschaufel 4 zur Anordnung auf der Rotorwelle 3, die aus einem elektrisch leitfähigen Werkstoff, vorzugsweise einem Metall wie Stahl oder dergleichen,

besteht. Die Oberfläche 5 der Laufschaufel 4 ist mit einer elektrisch isolierenden Beschichtung versehen, hier eine Keramikbeschichtung.

5 Fig. 3 zeigt eine entsprechende Leitschaufel 7, ebenfalls aus einem elektrisch leitfähigen Werkstoff, die an ihrer Oberfläche 8 ebenfalls eine Keramikbeschichtung aufweist.

Über die Rotorwelle 3 und eine nicht näher dargestellte Lage-  
10 rung dieser Rotorwelle 3 sind die Laufschaufeln 4 geerdet.  
Ebenso sind die Leitschaufeln 7 über das Gehäuse 2 der Turbi-  
ne 1 geerdet.

Während des Betriebs strömt heißes Prozessgas von der Brenn-  
15 kammer 20 durch den Turbinenbereich 22 zum Auslass 23. Der  
Gasstrom weist aufgrund seiner hohen Temperatur von 1200°C  
ionisierte Teilchen auf, die sich bevorzugt auf den isolie-  
renden Oberflächen absetzen. Hierdurch laden sich die Ober-  
flächen 5, 8 der Schaufeln 4, 7 positiv auf. Wie aus Fig. 4  
20 ersichtlich, ist gegenüber der ersten Laufschaufelreihe mit  
den Schaufeln 4 am Gehäuse 2 eine Koax-Antenne 6 vorgesehen,  
die bei Rotation der Rotorwelle 3 die durch die auf den Lauf-  
schaufeln 4 angeordneten Ladungsträger verursachten Feldände-  
rungen des elektrischen Felds detektiert. Die Koax-Antenne 6  
erzeugt im Rhythmus der vorbeilaufenden Ladungen entsprechen-  
de elektrische Signale, die über eine Leitung 25 an eine  
Messeinheit 10 übermittelt werden. Die in diesem Beispiel  
verwendete Gasturbine 1 ist für eine Drehzahl von 3600 Umdre-  
hungen pro Minute vorgesehen und weist an dem der Koax-  
30 Antenne 6 gegenüberliegenden Laufschaufelrad 80 radial ange-  
ordnete Laufschaufeln 4 auf. Bei der vorgesehenen Drehzahl  
ergeben sich somit 4800 Impulse pro Sekunde, was einer Fre-  
quenz von 4800 Hz entspricht.

35 Schematisch ist der Messablauf in Fig. 5 dargestellt. Fig. 5  
zeigt einen Ausschnitt der Rotorwelle 3 der Turbine 1 mit ei-  
ner daran angeordneten Laufschaufel 4 sowie einer am Gehäuse

2 befestigten Leitschaufel 7. Die Koax-Antenne 6 misst das lokale elektrische Feld und übermittelt ein dem Messwert entsprechendes Signal über die Leitung 25 an die Messeinheit 10. Die Messeinheit 10 bereitet die übermittelten Signale auf und 5 führt diese einer von der Messeinheit 10 umfassten Überwachungseinheit 11 zu. Die Überwachungseinheit 11 vergleicht den Pegel der aufbereiteten Signale mit einem vorgebbaren Schwellwert 15 und übermittelt bei Unterschreiten eine entsprechende Warnmeldung an ein Signalhorn 14 und gibt darüber 10 hinaus eine Meldung über eine Funkverbindung 13 an eine Zentrale 12. Die Zentrale 12 weist eine Empfangseinheit 26 auf, die die über die Funkverbindung 13 übermittelten Signale empfängt und aufbereitet. Die empfangenen Signale werden in einer FFT-Einheit 16, z.B. Mathcad, Fourier-transformiert und 15 auf einer Anzeige 27 angezeigt. Die Anzeige 27 kann beispielsweise durch einen Bildschirm oder auch durch in einem Gehäuse eingebaute Leuchtdiodenzeilen gebildet sein. Die Anzeige 27 weist ferner einstellbare Schwellwerte 17 auf, mit denen ein Unterschreiten der transformierten Signalpegel an- 20 zeigbar ist. Eine Überwachungseinheit 28 führt einen kontinuierlichen Vergleich der transformierten Signalpegel zu den Schwellwerten durch und übermittelt bei Unterschreiten eines Schwellwertes ein entsprechendes Signal an eine Steuereinheit 29 der Turbine 1. Über die Steuereinheit 29 ist die Turbine 1 abschaltbar. So kann also bei Feststellung eines Verschleißes die Turbine 1 abgeschaltet sowie eine Wartung ausgelöst werden.

30 Eine zur Rotorwelle 3 koaxiale Gasströmung enthält aufgrund ihrer Temperatur von ca. 1200°C Ionen. Die positiven Ladungsträger des Gasstroms lagern sich auf den isolierenden Oberflächen 5 der Schaufeln 4 ab. Die durch die Rotation der Rotorwelle 3 an der Koax-Antenne 6 vorbeigeführten Ladungsträger der Schaufeln 4 bewirken entsprechende Messsignale, die 35 verfahrensgemäß verarbeitet werden. Tritt nun an einer Schaufel 4 eine Beschädigung der isolierenden Oberfläche beispielsweise aufgrund von Verschleiß auf, so nimmt die an der

Oberfläche 5 der Schaufel 4 positionierte Ladung ab, indem diese zumindest teilweise über den metallischen Körper der Schaufel 4 nach Erde abgeleitet wird. Die reduzierte Ladungsmenge führt zu einer entsprechenden Signalverminderung der 5 Koax-Antenne 6, wobei bei Unterschreiten eines vorgegebenen Schwellwertes 15 die oben genannten Maßnahmen automatisch eingeleitet werden.

Ebenfalls in Fig. 5 dargestellt ist eine entsprechende Überwachung für eine mit dem Gehäuse 2 der Turbine 1 verbundene Leitschaufel 7, die ebenfalls eine isolierende Oberfläche 8 aufweist. Auch die Leitschaufeln 7 werden an ihrer Oberfläche 8 entsprechend positiv aufgeladen. An dem gegenüberliegenden Wellenabschnitt der Rotorwelle 3 ist hier ein korrespondierendes Messelement 9 vorgesehen, welches in dieser Ausgestaltung als Induktionssensor ausgebildet ist. Der Induktionssensor 9 rotiert auf axialer Höhe der Leitschaufelanordnung und misst auf diese Weise ein durch die Bewegungsdifferenz erzeugtes magnetisches Feld. Über nicht näher dargestellte Verbindungen wird das entsprechende Signal an eine hierfür geeignete Messeinheit übermittelt, welche mit der Messeinheit 10 kommunikationstechnisch verbunden sein kann, um ebenfalls auf das System der Gasturbine 1 einwirken zu können. Grundsätzlich kann an dieser Stelle jedoch auch ein kapazitives Messelement wie beispielsweise die Koax-Antenne 6 vorgesehen sein.

Fig. 6 zeigt einen Messaufbau zur Messung der von der Koax-Antenne 6 gelieferten Signale. Die Koax-Antenne 6 ist für 30 diese Messung mit einem Verstärker 30 verbunden, dessen Ausgangssignal den Eingang eines Transientenrekorders 31 treibt, dessen Zeitsignal mittels einer FFT in einem PC transformiert wird.

35 Fig. 7 zeigt ein Signalpegel-Frequenz-Diagramm eines vom Transientenrekorder gespeicherten bzw. in Mathcad transformierten Datensatzes der Gasturbine 1 gemäß Fig. 1 bei Betrieb

mit 100 % Last. Das Diagramm weist ein kartesisches Koordinatensystem auf, dessen Ordinate den relativen Leistungspegel des gemessenen Signals darstellt, während dessen Abszisse der Frequenz in Herz entspricht. Deutlich erkennbar ist eine einzelne Spalte bei der Frequenz von 4800 Hz, was der oben angegebenen Impulsfolge entspricht.

In Fig. 8 ist ein Diagramm wie in Fig. 7 dargestellt, wobei die Leistung nur 30 % der Nennleistung der Turbine 1 beträgt.  
10 Auch hier ist ganz deutlich eine Spalte bei 4800 Hz erkennbar.

Fig. 9 zeigt ein Diagramm wie in Fig. 7, wobei jedoch ein Auslaufen der Turbine 1 von 100 % Last in den Ruhezustand dargestellt ist. Selbst hierbei ist die Spalte bei 4800 Hz deutlich zu erkennen. Hier zeigt sich jedoch, dass der Ordinatenwert der Spalte von der Leistung der Turbine abhängig ist. Um daher eine brauchbare Überwachung der Beschichtung zu erreichen, wird daher der Schwellwert 17 gemäß dem aktuellen Leistungszustand der Gasturbine 1 nachgeführt. So kann bei jedem Leistungszustand der Gasturbine 1 die Wirksamkeit der Beschichtung an der Oberfläche 5, 8 einer Schaufel 4, 7 unabhängig vom Betriebszustand der Gasturbine 1 festgestellt werden.

Die in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispiele dienen lediglich der Erläuterung der Erfindung und sind für diese nicht beschränkend. So können insbesondere die Art des Messelements oder die weitere Signalverarbeitung sowie auch die Anordnung des Messelementes variieren, ohne den Schutzbereich der Erfindung zu verlassen. Insbesondere können natürlich duale Elemente verwendet werden, beispielsweise ein Messelement für ein magnetisches Feld anstelle eines Messelements für ein elektrisches Feld, da es sich um die Messung von relativ zum Messelement bewegten Ladungen handelt. Insbesondere ist auch die Überwachung der Beschichtung einer Leitschaufel mittels eines mit der Rotorwelle umlaufenden Messelements umfasst.

## Patentansprüche

1. Strömungsmaschine (1) mit an einer in einem Gehäuse (2) drehbar gelagerten Rotorwelle (3) angeordneten Laufschaufeln

5 (4) aus einem elektrisch leitfähigen Werkstoff mit einer elektrisch isolierenden Oberfläche (5), wobei der elektrisch leitfähige Werkstoff der Laufschaufeln (4) mit einem Bezugspotential elektrisch verbunden ist, *gekennzeichnet* durch ein im Bereich der Laufschaufeln (4) angeordnetes Messelement (6) zur Messung einer elektrischen und/oder magnetischen Feldstärke.

2. Strömungsmaschine (1) mit an einer in einem Gehäuse (2) drehbar gelagerten Rotorwelle (3) angeordneten Laufschaufeln

15 (4) und mit drehfest angeordneten Leitschaufeln (7) aus einem elektrisch leitfähigen Werkstoff mit einer elektrisch isolierenden Oberfläche (8), wobei der elektrisch leitfähige Werkstoff der Leitschaufeln (7) mit einem Bezugspotential elektrisch verbunden ist, *gekennzeichnet* durch ein im Bereich der Leitschaufeln (7) an der Rotorwelle (3) angeordnetes Messelement (9) zur Messung einer elektrischen und/oder magnetischen Feldstärke.

3. Strömungsmaschine nach Anspruch 1 oder 2, *dadurch gekennzeichnet*, dass das Messelement (6) durch eine Koaxial-Antenne gebildet ist.

4. Strömungsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 3,

*dadurch gekennzeichnet*, dass das

30 Messelement (6) mit einer Messeinheit (10) verbindbar ist.

5. Strömungsmaschine nach Anspruch 4, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Messeinheit (10) eine Überwachungseinheit (11) umfasst.

6. Strömungsmaschine nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Messeinheit (10) mit einer Zentrale (12) in Kommunikationsverbindung (13) steht.

5 7. Strömungsmaschine nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Überwachungseinheit (11) eine Melde- und/oder eine Warneinrichtung (14) aufweist.

10 8. Strömungsmaschine nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Strömungsmaschine (1) mittels der Überwachungseinheit (11) abschaltbar ist.

15 9. Strömungsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass eine Beschädigung der elektrisch isolierenden Oberfläche (5, 8) lokalisierbar ist.

20 10. Strömungsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die elektrisch isolierende Oberfläche (5, 8) durch eine Beschichtung gebildet ist.

11. Strömungsmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Strömungsmaschine (1) eine Turbine, insbesondere eine Gasturbine, ist.

30 12. Verfahren zur Bestimmung einer Beschädigung einer elektrisch isolierenden Oberfläche (5, 8) einer auf einer in einem Gehäuse (2) drehbar gelagerten Rotorwelle (3) angeordneten Laufschaufel (4) aus einem elektrisch leitfähigen Werkstoff in einer Strömungsmaschine (1), dadurch gekennzeichnet, dass mittels eines Messelements (6) eine elektrische und/oder magnetische Feldstärke gemessen und eine Abweichung zu einem vorgebbaren Schwellwert (15) ermittelt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Abweichung an eine Zentrale (12) übermittelt wird.

5

14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass bei Überschreiten des Schwellwertes (15) eine Warnmeldung ausgegeben wird.

10 15. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass bei Überschreiten des Schwellwertes (15) die Strömungsmaschine (1) abgeschaltet wird.

15 16. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass mittels einer Messeinheit (10) das vom Messelement (6, 9) gelieferte Messsignal transformiert, insbesondere Fourier-transformiert wird.

20

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass eine FFT-Transformiereinheit (16) verwendet wird.

18. Verfahren nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, dass das Ergebnis der Transformation angezeigt und/oder gemeldet wird.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass das Ergebnis der Transformation mit einem vorgebbaren Schwellwert (17) verglichen wird.

## Zusammenfassung

## Strömungsmaschine

5 Die Strömungsmaschine (1) umfasst an einer in einem Gehäuse (2) drehbar gelagerten Rotorwelle (3) angeordnete Laufschaufeln (4) aus einem elektrisch leitfähigen Werkstoff mit einer elektrisch isolierenden Oberfläche (5). Der elektrisch leitfähige Werkstoff der Laufschaufeln (4) ist mit einem Bezugs-  
10 potential elektrisch verbunden. Im Bereich der Laufschaufeln (4) ist ein Messelement (6) zur Messung einer elektrischen und/oder magnetischen Feldstärke angeordnet.

FIG 4

Best Available Copy

FIG 1

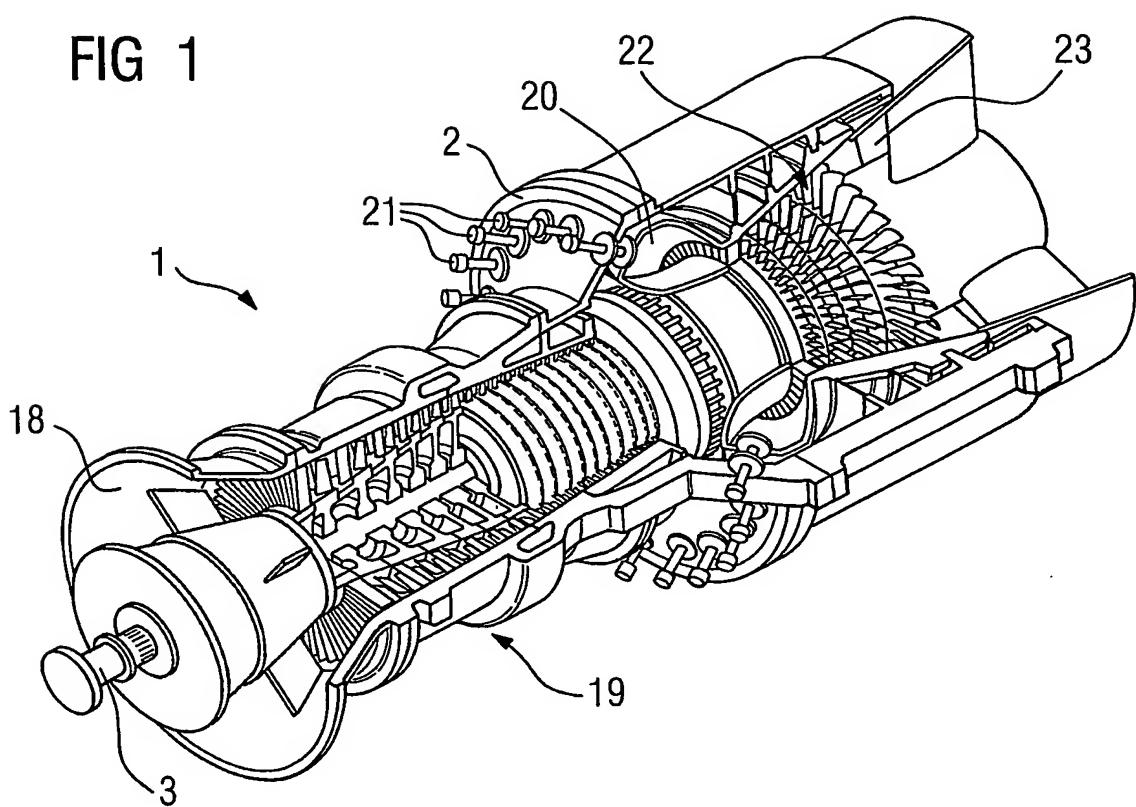


FIG 2

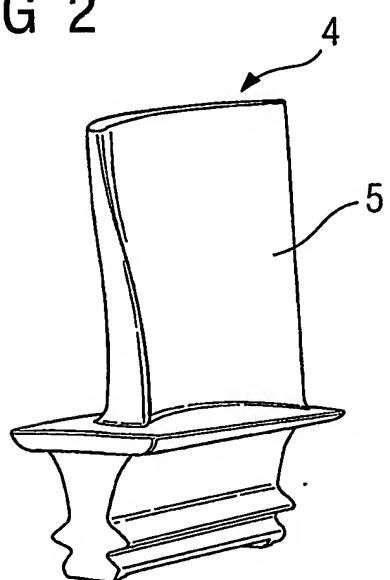
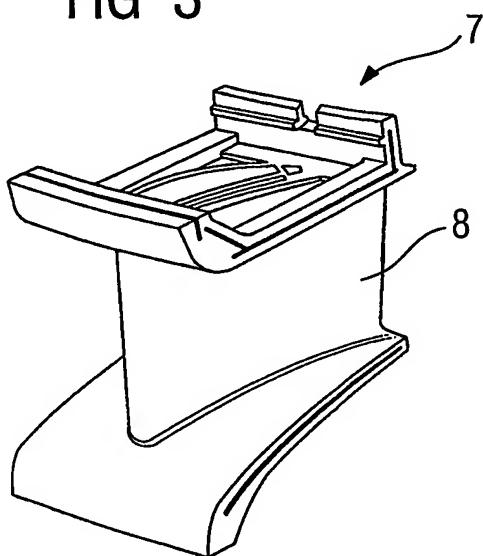


FIG 3



Best Available Copy

200212570

2 / 4

FIG 4

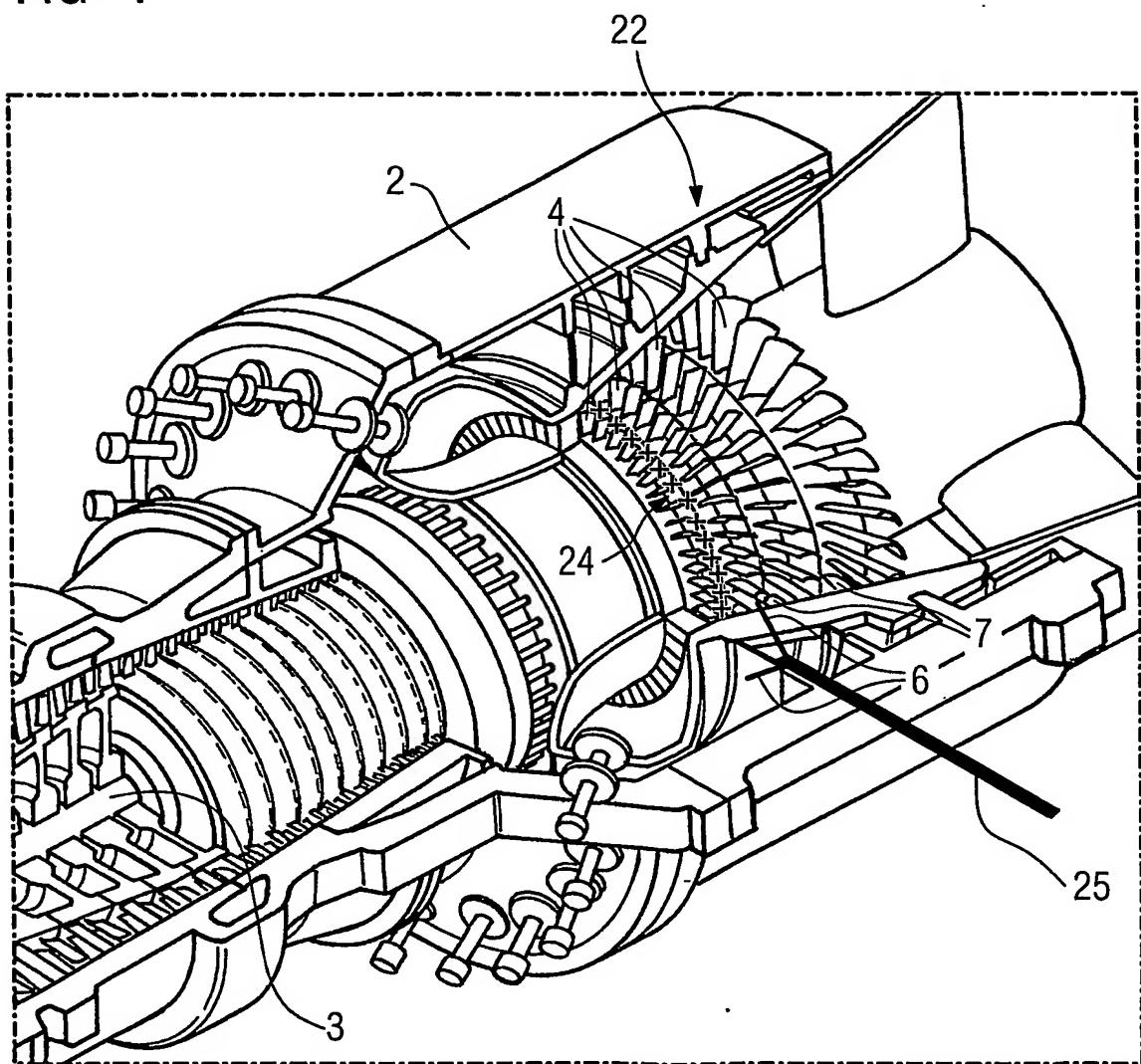


FIG 5

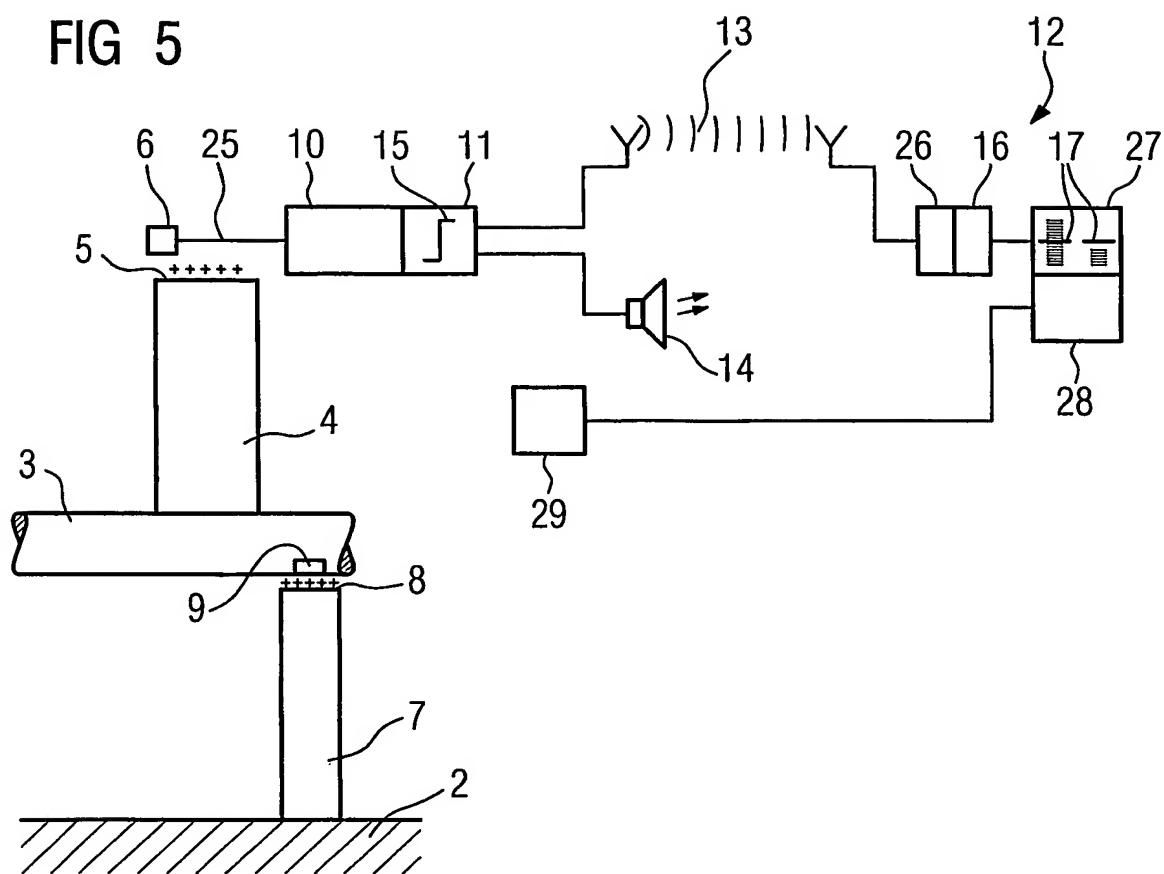
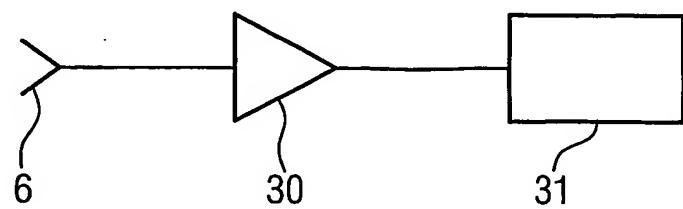


FIG 6



Best Available Copy

200212570

4 / 4

FIG 7

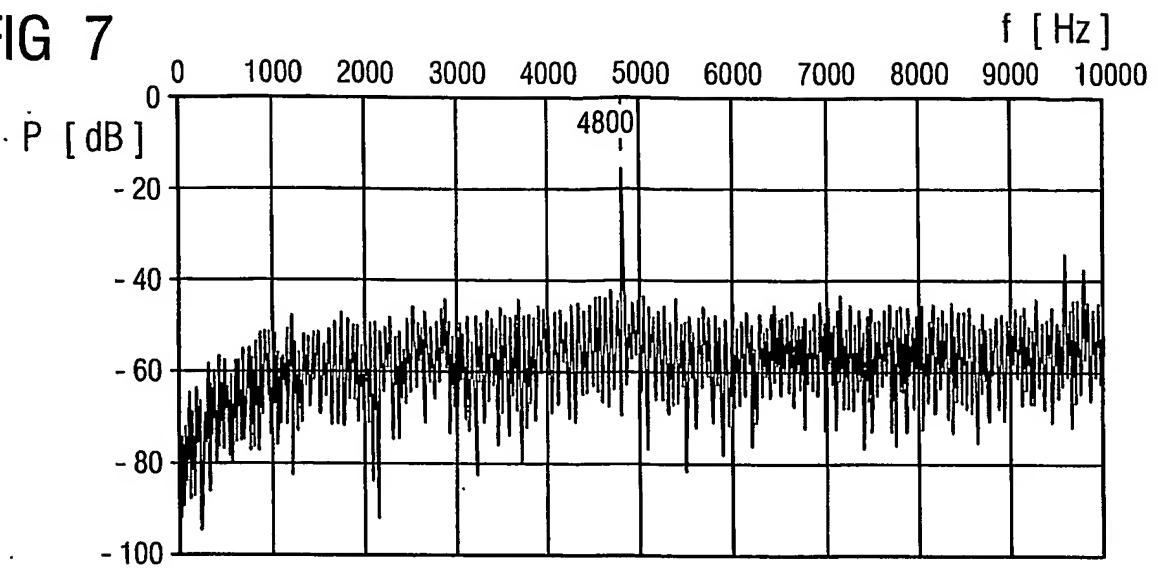


FIG 8

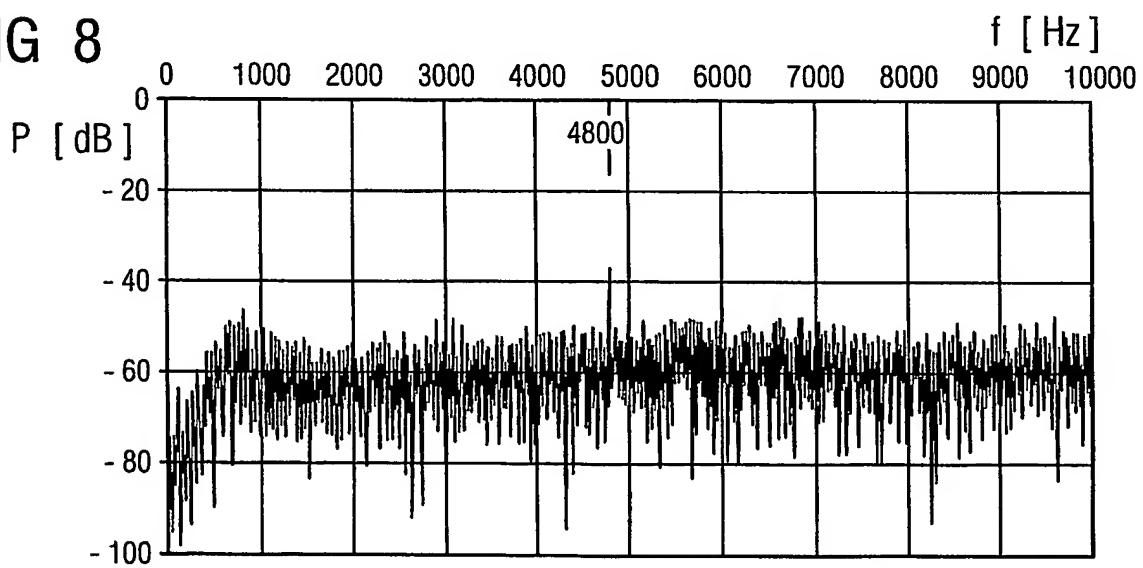


FIG 9

